

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Объединенный институт высоких  
температур Российской академии наук

Академик РАН Петров О.Ф./  
"07" февраля 2024г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Китаева Ильи Николаевича "Нелинейные явления в электростатических плазменных волнах: обратные волны, потоки частиц, двухтоновые волны и самобиения" на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика

Диссертационная работа Китаева Ильи Николаевича посвящена теоретическому исследованию свойств линейных и нелинейных электростатических плазменных волн. В частности, проведено теоретическое исследование электростатических обратных и боковых ленгмюровских волн, ионно-звуковых и пыле-акустических волн, а также солитонов как в классической, так и в квантовой плазме. В работе использовались стандартные методы линеаризации и метод псевдопотенциала Сагдеева. Большое внимание уделено процессам переноса, индуцированным нелинейными волнами и солитонами. **Актуальность работы** связана с развитием теории плазменных волн, в частности, с поиском и анализом новых явлений и закономерностей, существующих в нелинейных волновых процессах в плазме и плазмоподобных средах. Результаты работы могут найти применение в современной

теоретической физике, физике плазмы, радиофизике, астрофизике, физике конденсированного состояния и др.

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 155 страниц с 53 рисунками. Список литературы содержит 184 наименования.

**Введение** посвящено общей характеристике диссертационной работы: представлены её актуальность, научная новизна, практическая значимость полученных результатов; сформулированы цели работы и перечислены основные положения, выносимые на защиту; приведены сведения об апробации результатов, основных публикациях, структуре и объеме работы.

**В первой главе** диссертации представлена теория электростатических обратных и боковых волн в плазме, приведено первое положение, выносимое на защиту. Рассмотрены линейная и нелинейная постановка задачи. Показано, что профили обратных и боковых волн неотличимы от профилей обычных ионно-звуковых волн.

**Вторая глава** посвящена анализу потоков заряженных частиц, возбуждаемых нелинейными ионно-звуковыми и пыле-акустическими волнами. Рассмотрены как двухкомпонентные, так и многокомпонентные модели плазмы. Показано, что в двухкомпонентной модели плазмы ( $ei$  модель) с холодными ионами поток ионов направлен в сторону, противоположную фазовой скорости нелинейной ионно-звуковой волны. В трехкомпонентной модели плазмы ( $eii$  модель) существуют два типа ионно-звуковых волн, быстрая и медленная. Установлено, что в быстрой волне потоки обоих сортов ионов двигаются против волны, а в медленной – потоки ионов направлены в противоположные стороны. Указанный результат представляет возможность разработки новых методов масс-сепарации ионов в плазме. Показано, что в модели плазмы, содержащей электронную, пылевую и две ионных популяции заряженных частиц ( $eiid$  модель), процесс сепарации ионов может быть значительно интенсифицирован, в сравнении с



*eii*-плазмой. Также показано, что для увеличения ионного потока следует увеличивать степень асимметрии псевдопотенциальной ямы.

Вычислены средние за период потоки пылинок в периодической пыле-акустической волне и потоки частиц в последовательности пыле-акустических солитонов. Показано, что поток заряженных пылевых частиц в периодической волне направлен против фазовой скорости, однако, при этом пылинки переносятся солитонами в направлении своего движения.

**В третьей главе** диссертации развита теория нелинейных двухтоновых волн в квантовой плазме, в том числе явления самобиений. Обосновывается третье положение, выносимое на защиту. Описан метод теоретического описания нелинейных волн в квантовой плазме, который основан на анализе системы газодинамических уравнений для каждого сорта частиц, в которых уравнение движения ионов содержит газодинамический член, вычисляемый из уравнения состояния вырожденного ферми-газа, и член, представляющий собой, так называемую, квантовую силу Бома, выведенный из уравнения Шредингера.

**В Заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

Стоит отметить наиболее важные результаты диссертации, которые имеют **научную значимость**: обосновано существование электростатических обратных и боковых ленгмюровских, ионно-звуковых и пыле-акустических волн в плазме; проведен расчет точных значений ионных и пылевых потоков, переносимых ионно-звуковыми и пыле-акустическими волнами произвольной амплитуды; выполнена физическая интерпретация двухтонового характера и явления самобиений для ленгмюровских и ионно-звуковых волн в квантовой плазме. **Прикладная значимость** результатов может заключаться в следующем: доказательство существования ионно-звуковой волны в форме обратной волны открывает принципиальную возможность создания аналога лампы обратной волны в плазме; обоснование возникновения контр-направленных потоков ионов в ионно-звуковой волне в

плазме с двумя сортами ионов даёт принципиальную возможность новой методики масс-сепарации ионов в плазме; установление двухтонового характера электростатических волн и явления самобиений в квантовой плазме открывает перспективу новых полупроводниковых волновых приборов.

Материалы диссертации были **апробированы** на 5 международных и российских научных конференциях и семинарах. По теме работы автор имеет **14 публикаций** в ведущих зарубежных и российских рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и входящих в перечень международной базы (SCOPUS, Web of Science). **Личный вклад автора** не вызывает сомнения.

Результаты исследований затрагивают сразу несколько областей науки, таких как теоретическая физика, физика плазмы, радиофизика, астрофизика, физика конденсированного состояния. Представленные в данной работе результаты теоретических исследований могут оказаться полезными широкому кругу специалистов, в том числе занимающихся созданием новых методов и технологий масс-сепарации, ускорения заряженных частиц, а также исследователям космической и астрофизической плазмы. Результаты работы могут быть полезны для исследователей из Института космических исследований РАН, Объединенного института высоких температур РАН, Института общей физики им. А.М. Прохорова, МГУ им. М.В. Ломоносова, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Московского физико-технического института и других научных организаций, проводящих исследования в области физики плазменных волн. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По тексту диссертации возникли следующие **замечания и вопросы**:

1. В диссертации применяется псевдопотенциальный метод для анализа свойств нелинейных электростатических волн и солитонов. Какой физический смысл имеет функция псевдопотенциала Сагдеева?



2. В диссертации отсутствует сопоставление полученных теоретических результатов с известными экспериментальными результатами.
3. Можно ли использовать дисперсионные соотношения, приведенные в диссертации для описания свойств нелинейных волн?
4. Является ли свойство нелинейных плазменных волн возбуждать потоки заряженных частиц проявлением потоковых неустойчивостей?
5. Для описания свойств пыле-акустических волн предпочтительно использовать диссипативные модели с неравновесными ионами, которые учитывают процессы перезарядки и столкновений заряженных частиц.
6. Термин "сверхнелинейная волна", использованный в диссертации, не является общепринятым.

На все поставленные перед соискателем вопросы получены ответы. Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор Китаев Илья Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

Диссертационная работа была обсуждена и одобрена на заседании семинара ОИВТ РАН под руководством академика О.Ф. Петрова (протокол №1 от 24 января 2024 г.). Отзыв составлен старшим научным сотрудником лаборатории 17.3 Объединенного института высоких температур РАН, кандидатом физико-математических наук Трухачёвым Фёдором Михайловичем.

Старший научный сотрудник лаборатории 17.3 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, Тел. +7(977)517-78-93; +7(495) 485-90-09, [ftu@mail.ru](mailto:ftu@mail.ru)

к.ф.-м.н., доцент,  
с.н.с. лаборатории 17.3  
ОИВТ РАН

Трухачёв Фёдор Михайлович  
07 февраля 2024г.

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, Тел. +7(495) 485-90-09, [alexeykiverin@gmail.com](mailto:alexeykiverin@gmail.com)

д.ф.-м.н.



Киверин Алексей Дмитриевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) 125412, Москва, улица Ижорская, дом 13, строение 2, Тел. +7(495)485-8345, [office@ihed.ras.ru](mailto:office@ihed.ras.ru)